新疆雪灾空间格局和年际变化特征分析

王 旭[1]， 储长江[2]， 牟 欢[3]

（1. 新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室，新疆 乌鲁木齐 830002；2. 新疆维吾尔自治区气象局，新疆 乌鲁木齐 830002；3. 新疆维吾尔自治区气象台，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：利用1961—2018年新疆雪灾事件的7个灾情要素（出现次数、死亡人数、倒塌房屋数、倒塌棚圈数、倒塌温室大棚数、牲畜死亡数、受灾面积）数据，采用比值权重法和无量纲化线性求和方法构建了雪灾灾损指数，雪灾灾损指数与7个灾情要素显著相关，且大小能够代表雪灾灾损的强弱。依据灾损指数的伽玛分布，将雪灾的危害性划分为一般、较重、严重、特重4个等级。结果表明，新疆雪灾北疆多于南疆，主要分布在农牧区，主要出现在11月至次年4月，特重等级的雪灾出现在伊犁河谷、阿勒泰市、托里县、阿图什市、巴音布鲁克、巴里坤县。新疆雪灾的年际变化波动性加剧，并且年灾损指数（雪灾强度）呈线性增强趋势，特重等级的雪灾出现在1985、1990、2001、2006、2008、2010年。在风速、气温、水汽压、降雪量、积雪深度这5个气候要素中，雪灾集中期11月至次年4月的新疆雪灾年际变化的主要气候影响因子是降雪量和平均积雪深度。总体来看，新疆雪灾的空间差异性明显，年际变化呈增强的变化趋势。

关键词：雪灾；灾损指数；空间格局；年际变化；气候因子；新疆

雪灾是由冬春季集中降雪形成大面积持续的积雪覆盖，对交通、电力、通信和农牧业造成严重影响的一种主要自然灾害。新疆、内蒙古、青海及西藏等省（区）是中国雪灾严重的地区[1]，雪灾给当地的经济社会发展造成严重危害。如1966年阿勒泰地区平原雪深大于1 m，山区大于2 m，由于大雪封盖，草料缺乏，8.0×10^5头牲畜被饿死、冻死、雪埋致死，牲畜死亡率高达45%。

近半个世纪，在增湿变暖的气候背景下，新疆各季降水量均有所增加，特别是北疆冬季降雪量增幅最大[2-3]。由降雪引发的雪灾事件也随之增加，雪灾的分析评估已成为研究重点。雪灾的严重程度与雪盖面积、积雪深度、降雪日数和强度等密切相关，国内科研人员也开展了一些相关研究工作。胡列群等[4]利用1960—2014年新疆88个气象站积雪观测资料，分析了新疆积雪深度和积雪日数的变化趋势，揭示了新疆气象雪灾的时空分布特征；周陆生等[5]利用气象资料对青藏高原东部牧区大—暴雪过程及雪灾分布特征进行了研究；董文杰等[6]利用雪盖面积、积雪深度、积雪日数和受灾面积研究了青藏高原牧区雪灾的气候特征；韩少帅等[7]基于气象、地形地貌、社会经济、历史雪灾等多源数据资料，运用层次分析、风险矩阵等方法，构建了东北地区雪灾综合评价模型，并根据各省的情况提出针对性的防灾减灾建议；孟万忠等[8]运用历史文献、数理统计及小波分析等方法，分析了1912—2016年内蒙古雪灾的等级、时空变化特征、周期规律及其与ENSO的关系，并发现在La Niña年发生雪灾的次数多于常年，二者显著相关；郭晓宁等[9]利用45个气象站的积雪深度资料，按照雪灾气象分级标准研究了1961—2008年青海高原雪灾的时空分布和变化特征；郝璐等[10]利用县域雪灾记录，辅以气象统计资料研究了1949—2000年中国雪灾的时空分布格局；时兴合等[11]用最大积雪深度和死亡牲畜数量分析了1961—2004年青海雪灾变化；许剑辉等[12]用新疆各县市所记载的雪灾次数，按照年、月时间尺度统计分析11 a的雪灾总次数、频次及其时空分布；李亚滨等[13]用降雪量、气温、风等6个气象要素对雪灾强

收稿日期：2019-09-20 **修订日期：**2019-12-02
基金项目：新疆气象局科学技术研究与应用技术开发项目（Q202007）资助
作者简介：王旭（1964-），男，研究员，从事人工影响天气和灾害性天气形成机理研究. E-mail: wangxu2323@vip.163.com
通讯作者：储长江. E-mail: ccj690913@163.com

度进行划分，利用显著性检验找出形成雪灾的3个主要因子，建立雪灾强度预估方程；韩秀君等[14]根据1951—2014年辽宁省各市、县降雪灾害造成的经济损失、雪灾出现的频率、多年平均灾损强度及气象灾变指数，计算各市、县的气象灾损值，并依此值作为雪灾灾度指数开展辽宁降雪灾害区划。马晓芳等[15]利用青海省雪灾发生的社会经济、自然及气象等19种因素，将主观经验和逻辑回归方法相结合筛选出5个风险评价因子，最后基于ArcGIS平台得到青海地区2001—2007年的雪灾平均风险区划图，并对其划分等级，分析不同雪灾等级在空间上的分布特征；隋琦等[16]提出了一种多源信息结合的雪灾交通风险评估方法，先利用长时间气象观测数据分析雪灾的致灾强度时空特征，计算不同年遇型雪灾致灾强度；再对门户网站、高速公路网站中节假日道路拥堵的新闻报道进行信息挖掘，得出高速公路暴露度，最终采用风险矩阵进行雪灾交通风险评估，为当地雪灾风险交通预警提供了参考。

以上研究成果是气象、农业、牧业、民政、交通等不同行业部门[17]在雪灾分析评估方法上的研究积累，分析评估的内容、方法和侧重点各有所不同，目前在我国尚未有一个完整统一的定量分析评价和等级划分标准。雪灾出现次数、死亡人数、倒塌房屋数、倒塌棚圈数、倒塌温室大棚数、牲畜死亡数量、受灾面积，这7个灾情要素在雪灾灾情报告中均有详细记载，从不同角度描述了雪灾的影响程度，而在以往的研究中较少有利用这7个灾情要素定量对雪灾危害性进行评估。

本文首先选择7个雪灾灾情要素，采用比值权重和无量纲化计算方法，构建能综合表达7个灾情要素强弱的灾损指数。通过计算灾损指数与7个灾情要素之间的相关性，来验证灾损指数构建的合理性；其次，通过统计检验验证灾损指数的分布函数，按照分布函数的概率对雪灾进行客观定量的危害性等级划分，在此基础上讨论新疆雪灾的空间格局和年际变化趋势。最后，选取气温、水汽压、风速、降雪量和积雪深度，探讨气候要素对雪灾年际变化的影响。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

新疆地形地貌属“三山夹两盆”。北部有阿尔泰山脉，南部有昆仑山脉，天山山脉横亘中部，把新疆分为南北两大部分，北部是准噶尔盆地，南部是塔里木盆地。天山以南为南疆，天山以北为北疆。新疆属典型的温带大陆性干旱气候，年平均气温10.4 °C，年平均降水量188 mm，冬季长且寒冷。11月至次年3月，新疆平均气温-5.0 °C，其中阿勒泰地区、塔城地区、北疆沿天山一带平均气温较低；新疆平均降雪量32.6 mm，其中阿勒泰地区、塔城地区、伊犁河谷降雪量较大；新疆平均积雪深度5.0 cm，其中阿勒泰地区、塔城地区、伊犁河谷积雪较厚；高山地区不仅降雪量大，积雪也厚。自西向东移动的天气系统与特殊的地形地貌相互作用[18-19]，使得新疆成为中国雪灾严重的地区之一。

1.2　数据资料

根据《中国气象灾害大典·新疆卷》记载的1961—2000年雪灾灾情信息[20]、新疆维吾尔自治区民政厅记载的2001—2018年雪灾灾情信息，统计出1961—2018年新疆106县(市)包括出现时间(年月日)、出现区域(县/市)、死亡人数(人)、倒塌房屋(间)、倒塌棚圈(座)、倒塌温室大棚(座)、牲畜死亡数量(头)、受灾面积(hm^2)的雪灾记录593条。若某日某县(市)区域内出现1次雪灾，则雪灾出现次数记为1。

在雪灾年际变化的气候影响因子分析中，选取1961—2018年新疆资料完整的有代表性的93个气象站，对每个气象站每年雪灾集中发生期11月至次年4月的平均气温(T,°C)、平均风速(V, $m\cdot s^{-1}$)、平均水汽压(e, hPa)、累计降雪量(RR, mm)、平均积雪深度(h, cm)进行分析，探讨气候要素对雪灾年际变化的影响。

1.3　研究方法

由于表达雪灾的灾情要素有7个，为了便于比较各县(各年)雪灾的强弱，构建能够综合表达7个灾情要素的雪灾灾损指数(Z_i)。首先通过比值法确定每个灾情要素的权重，之后采用无量纲化线性求和的方法得到Z_i。在7个灾情要素中，每个灾情要素由n个样本组成，可用矩阵X表示雪灾的灾情要素。Z_i的计算方法如公式(1)。

$$Z_i = \sum_{j=1}^{7} a_j \frac{X_{ij}}{\bar{X}_j} \tag{1}$$

式中：i代表样本长度，j代表灾情要素。a_j、$\bar{X}_j$分别代表第j个灾情要素的权重和平均值。权重a_j

的计算方法如公式(2)。

$$a_j = \left(\sum_{i=1}^{n} X_{i,j} / X_{ja} \right) \Big/ B \qquad (2)$$

式中：X_{ja} 为第 j 个灾情要素的最大值，$\sum_{i=1}^{n} X_{i,j}/X_{ja}$ 代表第 j 个灾情要素无量纲化的累计值，$B = \sum_{j=1}^{7}\sum_{i=1}^{n} X_{i,j}/X_{ja}$ 代表7个灾情要素无量纲化的总和。

为了分析雪灾的空间分布特征和年际变化特征，利用公式(1)分别计算了县和年的灾损指数。在计算县的灾损指数时，n 取79，代表新疆79个县出现了雪灾，X 为各县各个灾情要素1961—2018年的累计值；在计算年灾损指数时，n 取58，代表58年，X 为各年各个灾情要素79个县的累计值。

1.4 灾损指数及其等级划分阈值的确定

利用1961—2018年新疆各县各个灾情要素的58 a累计值，各年各个灾情要素的79个县累计值，由公式(2)计算出县和年的7个灾情要素对应的权重(表1)，再由公式(1)计算得到县灾损指数79个，年灾损指数58个。

县灾损指数(Z_s)与7个灾情要素的相关系数分别为0.89、0.75、0.72、0.59、0.20、0.53、0.32，各相关系数的置信度 α 均小于0.05；年灾损指数(Z_k)与7个灾情要素的相关系数分别为0.86、0.64、0.78、0.81、0.42、0.32、0.34，各相关系数的置信度 α 均小于0.02。这表明 Z_s、Z_k 分别与7个灾情要素显著相关，因而，灾损指数能够综合反映7个灾情要素及其变化情况。

为了对各县(各年)雪灾危害性等级进行划分，首先利用概率分布密度的直方图法和假设检验[21]，确定县(年)灾损指数的概率密度函数之后，根据概率密度确定县(年)灾损指数不同等级的阈值。利用县(年)灾损指数样本序列，采用概率分布密度的图解法，按照小样本分组规则取分组数10[21]，得到县(年)灾损指数直方图(图1)，直方图显示灾损指数近似为伽玛分布。计算得到县(年)灾损指数的平均值 μ =0.99(1.00)，方差 σ^2 =0.73(1.32)，由 $\mu=\alpha_0\beta_0$，$\sigma^2=\alpha_0\beta_0^2$ 关系式计算得到县(年)伽玛分布的参数 α =1.37(0.76)，β =0.73(1.32)。

根据文献[21]的检验方法，计算得到县(年)的灾损指数统计量 V =4.64(3.58)，取 $\alpha=0.05$，查 χ^2 分布表得到临界值 $\lambda=14.07$。因 $V<\lambda$，认为县(年)的灾损指数概率分布为伽玛分布。具体表达式为：

表1 灾情要素的权重、平均值和最大值

Tab. 1 The weight, average and maximum value of disaster elements

		出现次数/次	死亡人数/人	倒塌房屋数/间	倒塌棚圈数/座	倒塌温室大棚数/座	牲畜死亡数量/头	农作物受灾面积/hm²
县	权重	0.42	0.11	0.11	0.11	0.08	0.14	0.03
	平均值	7.5	4.2	827	429	257	70732	143682
	最大值	20	42	8671	4348	3677	551092	5664333
年	权重	0.35	0.23	0.08	0.11	0.06	0.12	0.06
	平均值	10.2	5.7	1126	584	350	96342	195705
	最大值	47	40	22052	8218	9817	1227678	5676878

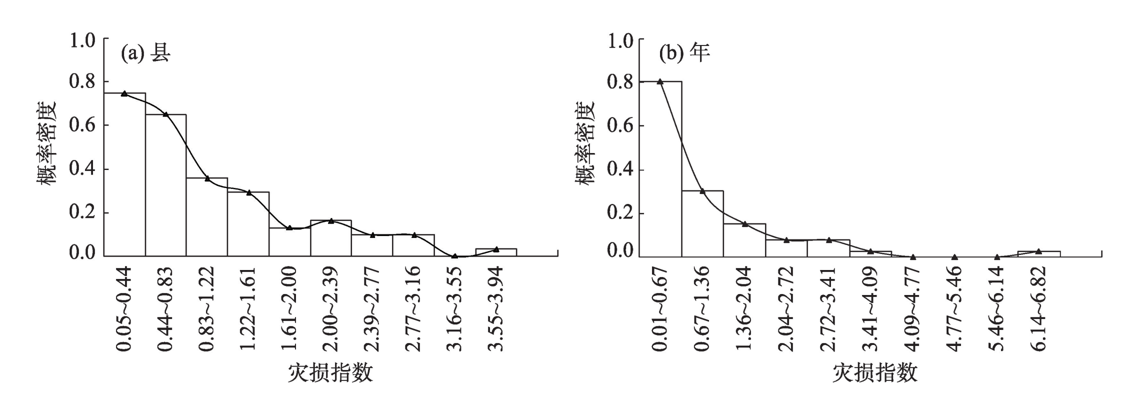


图1 新疆雪灾灾损指数的概率密度分布

Fig. 1 Probability density distribution of disaster loss index of snow in Xinjiang

$$f(Z)=\frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}Z^{\alpha-1}e^{-Z/\beta} \quad (3)$$

式中：Z 代表灾损指数，Z 取 Z_s 代表县，Z 取 Z_k 代表年。α 为伽玛分布的形状参数，β 为伽玛分布的尺度参数，$\Gamma(\alpha)$ 为伽玛函数，$\Gamma(\alpha)=\int_0^{\infty}x^{\alpha-1}e^{-x}dx$。

由伽玛分布函数的概率计算出县(年)灾损指数分位点的阈值 Z_p，根据 Z_p 的不同取值将县(年)灾损指数样本划分为一般、较重、严重、特重4个危害性等级(表2)。本研究根据分布函数概率的分级方法，克服了人为分级的主观性，使得分级客观合理。而分级中灾损指数分布函数的确定是关键，分级中分布函数概率值的选择符合概率统计学原理[21]。

2　结果与分析

2.1　新疆雪灾的空间分布特征

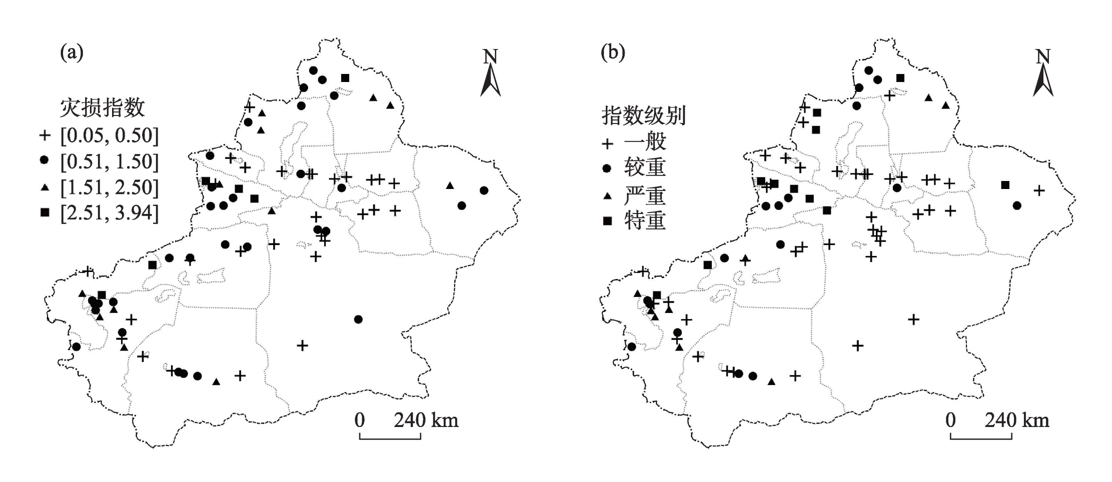
新疆79个县的灾损指数平均值为1.0，各地州灾损指数的平均值差异较大，前5位从大到小排列依次为克孜勒苏柯尔克孜自治州(2.2)、伊犁河谷(1.6)、阿勒泰地区(1.5)、塔城地区(1.4)、乌鲁木齐市(1.3)，哈密市(1.3)。从各县灾损指数的空间分布可以看出(图2a)，新疆雪灾具有明显的空间差异性，雪灾北疆多于南疆，西部多于东部。灾损指数高值区主要集中在北疆的北部和西部区域，以及南疆西部牧区；灾损指数低值区主要集中在绿洲平原，分别为博州—石河子市—昌吉州、阿克苏地区—巴音郭楞蒙古自治州和吐鲁番盆地。

按照雪灾等级划分，一般等级有41个县、较重等级17个县、严重等级9个县、特重等级9个县，占79个县的比例分别为52%、22%、11%、11%。特重等级的雪灾主要分布在尼勒克县、新源县、伊宁县、霍城县、阿勒泰市、托里县、巴音布鲁克、阿图什市和巴里坤县(图2b)。值得注意的是伊犁河谷特重等级雪灾的4个县(尼勒克县、新源县、伊宁县和霍城县)连成片，阿勒泰地区严重等级以上雪灾的3个县市(阿勒泰市、富蕴县和青河县)也连成片，克孜勒苏柯尔克孜自治州严重等级以上雪灾的4个县市(阿图什市、阿合奇县、乌恰县、阿克陶县)同样连成片。雪灾较重等级以上的区域和成片的区域，与降雪量较大和积雪深度较厚的区域相对应[4]。

表2　新疆雪灾等级划分标准

Tab. 2　Grade standard of snow disaster in Xinjiang

分布函数 F	县灾损指数 Z_s	县危害性等级	年灾损指数 Z_k	年危害性等级
$F\leqslant0.50$	$Z_s\leqslant0.77$	一般	$Z_k\leqslant0.64$	一般
$0.50<F\leqslant0.75$	$0.77<Z_s\leqslant1.38$	较重	$0.64<Z_k\leqslant1.27$	较重
$0.75<F\leqslant0.90$	$1.38<Z_s\leqslant2.13$	严重	$1.27<Z_k\leqslant2.47$	严重
$0.90<F$	$2.13<Z_s$	特重	$2.47<Z_k$	特重



审图号:GS(2017)3320号

图2　新疆雪灾灾损指数和危害性等级的空间分布

Fig. 2　Spatial distribution of snow disaster index and grade zoning of snow disaster in Xinjiang

2.2 雪灾的季节分布和年际变化特征

2.2.1 雪灾的季节分布 新疆的雪灾一年四季都会发生，冬季雪灾发生最多，占46.5%，春季次之占39.5%，秋季较少占10.8%，夏季仅为个别事件占3.2%。雪灾主要出现在11月至次年4月(图3)，此时段占到全年的89%。雪灾高发于2—3月(占全年的44%)，这是后冬初春时期，而不在隆冬，与董文杰等[6]分析的青藏高原东部牧区雪灾在11月、2月、3月高发的特征有明显的区别。新疆雪灾的季节分布特征与后冬初春累计积雪量较大、降雪累计时间较长以及牧区的牧业转场、产羔育幼、膘情差、饲草料困难等情况密切相关。因此，应认真做好后冬初春降雪天气过程的预报预警，提前做好防灾、抗灾准备。

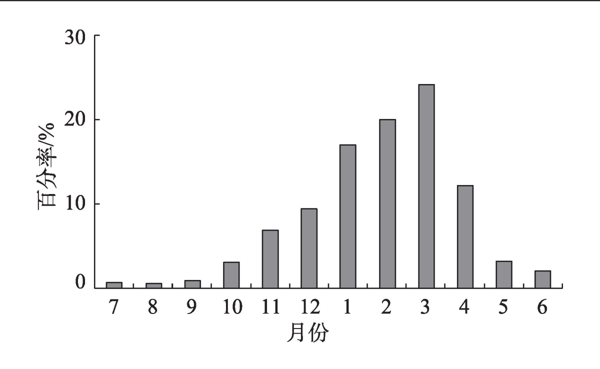


图3 1961—2018年新疆雪灾的季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of snow disaster in Xinjiang from 1961 to 2018

2.2.2 雪灾的年际变化及其气候成因 年灾损指数的大小表征某年雪灾的强弱。1961—2018年新疆雪灾年灾损指数(Z_k)在气候波动中呈明显的线性增加趋势，年灾损指数每10 a增加0.25(图4a)，这表明新疆雪灾事件越来越强。从年灾损指数4个等级出现的频数来看，年灾损指数较重等级以上的雪灾，20世纪60年代出现1次、70年代4次、80年代3次、90年代5次、21世纪00年代8次、2010—2018年6次，表明近58 a来，随着时间的推移，较重等级以

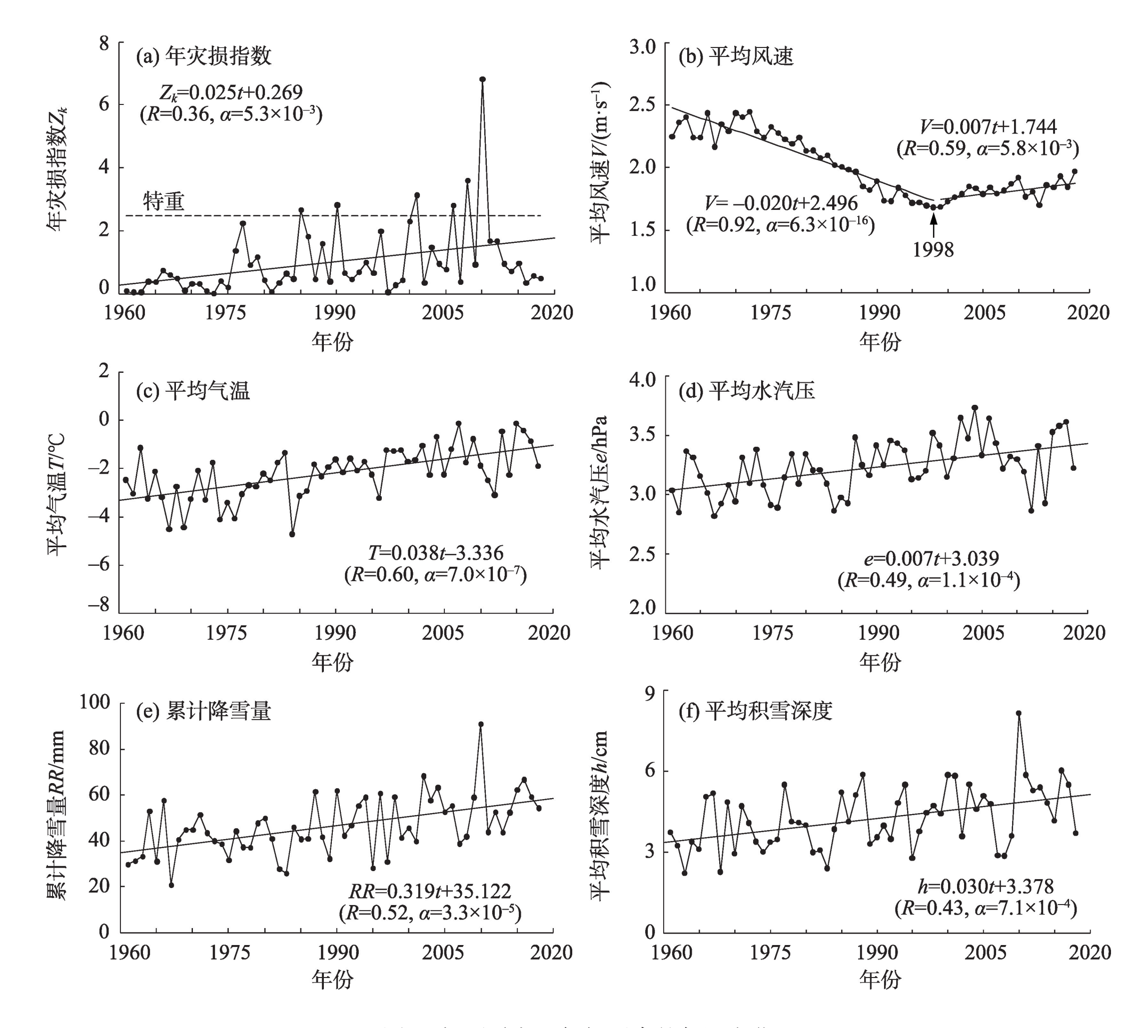


图4 新疆雪灾和气候要素的年际变化

Fig. 4 Interannual variation of snow disaster and climatic factors in Xinjiang

上雪灾出现年份逐渐增多。年灾损指数特重等级的年份分别在1985、1990、2001、2006、2008、2010年出现，表明进入21世纪后，特重等级年份出现频数明显增多。因而，从年灾损指数的线性变化趋势和等级出现频数均表明，新疆雪灾呈增加的变化趋势。

以往的研究表明，雪灾事件主要取决于降雪量、气温、积雪深度，与风速有一定的关系，而降雪量又与大气含水量(水汽压)有关[22]。因而，本研究选取1961—2018年全疆范围93个气象站11月至次年4月的平均气温(T)、平均水汽压(e)、平均风速(V)、累计降雪量(RR)、平均积雪深度(h)5个气候要素，对93个气象站进行平均，得到5个气候要素的年样本序列，用于讨论其与雪灾年灾损指数之间的关系。从图4b看出，近58 a来，平均风速先减小，后增大，在1998年出现突变。平均风速的这种转折性变化，显然与雪灾年灾损指数的线性增加趋势格格不入。平均气温呈线性增大的变化趋势(图4c)，其不是雪灾增强的因素，这是由于随着气温的升高，大气含水量必然增大，从而导致水汽压呈线性增大的变化趋势(图4d)。近58 a年来，平均气温虽然呈上升趋势，变化仍在-5～-0.5 °C，并不引起冬季稳定积雪消融，反而引起水汽压的增大，而水汽压的增大进一步有利于降雪量的增大。累计降雪量和平均积雪深度均呈线性增长的变化趋势(图4e，4f)，与雪灾年灾损指数的线性增长趋势有很好的对应关系。

通过分析气候要素与雪灾年灾损指数之间的相关系数，可度量气候因素对雪灾年际变化的影响程度。累计降雪量(RR)、平均积雪深度(h)、平均气温(T)、平均水汽压(e)与年灾损指数(Z_k)之间的相关系数分别为0.42(信度水平 α =0.001)、0.53(α =2.1×10^{-5})、0.05(α =0.74)、0.04(α =0.75)，表明 Z_k 与 RR 、h 显著相关，Z_k 与 T 、e 不相关。而 T 与 e 、e 与 RR 的相关性最好，进一步说明了三者之间的递进关系。可从 Z_k 与 RR 、h 之间的线性回归方程定量表达3者之间的关系，其回归方程为：$Z_k = 0.018RR + 0.428h - 1.663$ (R =0.55，α =4.1×10^{-5})，回归方程不仅非常显著，而且 RR 、h 的系数均为正数，这意味着当降雪量和积雪深度增加时，年灾损指数将增加。因而，新疆冬季降雪量和积雪深度是影响雪灾年际变化的主要气候因素。

3　结　论

(1) 依据新疆雪灾事件的出现次数、死亡人数、倒塌房屋数、倒塌棚圈数、倒塌温室大棚数、牲畜死亡数、受灾面积这7个灾情要素数据，运用比值权重法和无量纲化线性求和计算，构建了县雪灾灾损指数(Z_s)和年雪灾灾损指数(Z_k)。Z_s 、Z_k 分别与7个灾情要素相关系数在0.3～0.9之间，可信度水平超过0.05，相关性显著，表明灾损指数能够综合表达雪灾的强度。统计检验表明 Z_s 、Z_k 均服从伽马分布，依据伽马分布将 Z_s 、Z_k 危害性等级划分为一般、较重、严重、特重四个等级。利用灾损指数及其等级开展新疆雪灾时空分布的分析。

(2) 新疆雪灾的空间差异性明显，按灾损指数从大到小排在前5位的依次是：克孜勒苏柯尔克孜自治州、伊犁州、阿勒泰地区、塔城地区、乌鲁木齐市、哈密市。灾损指数大值区主要集中在北疆北部和西部以及南疆西部的牧区，低值区主要集中在绿洲平原。特重等级的雪灾主要在尼勒克县、新源县、伊宁县、霍城县、阿勒泰市、托里县、巴音布鲁克、阿图什市和巴里坤县，这些县市是防灾、救灾的难点和重点区域。

(3) 新疆雪灾冬季、春季、秋季、夏季出现频率分别为46.5%、39.5%、10.8%、3.2%。雪灾主要出现在11月至次年4月，占全年的89%，主要与这一时段降雪量大和积雪深度厚有关。1961—2018年近58 a来，雪灾年灾损指数呈明显的上升趋势，每10 a增加0.25。同时，进入21世纪新疆雪灾危害程度达较重以上的年份明显增多，雪灾呈加重的变化趋势。在气温、水汽压、风速、降雪量、积雪深度这5个气候因素中，11月至次年4月的平均气温的升高，增大了大气含水量，有利于降雪量的增加；平均风速的变化趋势与雪灾年灾损指数的变化趋势不一致，累计降雪量和平均积雪深度不仅与年灾损指数密切相关，而且变化趋势一致。因而，降雪量和积雪深度是新疆雪灾年际变化的主要气候影响因素。

参考文献(References)：

[1]　王增艳，车涛. 2002—2009年中国干旱区积雪时空分布特征[J]. 干旱区研究，2012，29(3)：464-471. [Wang Zengyan, Che Tao. Spatiotemporal distribution of snow cover in arid regions in

China[J]. Arid Zone Research, 2012, 29(3): 464–471.]

[2] 商沙沙, 廉丽姝, 马婷, 等. 近54 a中国西北地区来气温和降水的时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(1): 68–76. [Shang Shasha, Lian Lishu, Ma Ting, et al. The temporal and spatial characteristics of temperature and precipitation in northwestern China in recent 54 years[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(1): 68–76.]

[3] 关学锋, 孙卫国, 李敏姣, 等. 1965—2012年新疆北部地区气候变化及其对北极涛动的响应[J]. 干旱区研究, 2016, 33(4): 681–689. [Guan Xuefeng, Sun Weiguo, Li Minjiao, et al. Climate change in north Xinjiang and its response to arctic oscillation during the period of 1965–2012[J]. Arid Zone Research, 2016, 33(4): 681–689.]

[4] 胡列群, 张连成, 梁凤超, 等. 1960—2014年新疆气象雪灾时空分布特征研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2015, 34(3): 1–6. [Hu Liequn, Zhang Liancheng, Liang Fengchao, et al. Time and space distribution characteristics research of Xinjiang meteorological snow disaster in 1960–2014[J]. Journal of Xinjiang Normal University (Natural Sciences Edition), 2015, 34(3): 1–6.]

[5] 周陆生, 李海红, 汪青春. 青藏高原东部牧区大—暴雪过程及雪灾分布的基本特征[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 450–458. [Zhou Lusheng, Li Haihong, Wang Qingchun. The basic characteristics of heavy snowstorm process and snow disaster distribution in eastern pastoral areas of Qinghai-Xizang plateau[J]. Plateau Meteorology, 2000, 19(4): 450–458.]

[6] 董文杰, 韦志刚, 范丽军. 青藏高原东部牧区雪灾的气候特征分析[J]. 高原气象, 2001, 20(4): 402–406. [Dong Wenjie, Wei Zhigang, Fan Lijun. Climatic character analyese of snow disasters in east Qinghai-Xizang Plateau livestock farm[J]. Plateau Meteorology, 2001, 20(4): 402–406.]

[7] 韩少帅, 郭唯娜, 柯长青, 等. 东北地区雪灾风险综合评价[J]. 高技术通讯, 2020, 30(1): 91–100. [Han Shaoshuai, Guo Weina, Ke Changqing, et al. Comprehensive assessment of snow disaster risk in Northeast China[J]. Chinese High Technology Letters, 2020, 30(1): 91–100.]

[8] 孟万忠, 魏靖宇, 孟佳颖, 等. 1912—2016年内蒙古雪灾的特征与周期规律研究[J]. 地域研究与开发, 2020, 39(2): 122–126. [Meng Wanzhong, Wei Jingyu, Meng Jiaying, et al. Study on characteristics and periodic regularity of snow disaster in Inner Mongolia during 1912–2016[J]. Areal Research and Development, 2020, 39(2): 122–126.]

[9] 郭晓宁, 李林, 刘彩红, 等. 青海高原1961—2008年雪灾时空分布特征[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(5): 332–337. [Guo Xiaoning, Li Lin, Liu Caihong, et al. Spatio-temporal distribution of snow disaster in Qinghai Plateau during 1961–2008[J]. Advances in Climate Change Research, 2010, 6(5): 332–337.]

[10] 郝璐, 高景民, 杨春燕. 草地畜牧业雪灾灾害系统及减灾对策研究[J]. 草业科学, 2006, 23(6): 48–54. [Hao Lu, Gao Jingmin, Yang Chunyan. Snow disaster system to animal husbandry on grassland and control counter measures[J]. Pratacultural Science, 2006, 23(6): 48–54.]

[11] 时兴合, 李凤霞, 扎西才让, 等. 1961—2004年青海积雪及雪灾变化[J]. 应用气象学报, 2006, 17(3): 376–382. [Shi Xinghe, Li Fengxia, Zhaxi Cairang, et al. The variation of snow-cover and snow disaster in Qinghai during 1961–2004[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2006, 17(3): 376–382.]

[12] 许剑辉, 舒红, 刘艳. 2000—2010年新疆雪灾时空自相关分析[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 221–227. [Xu Jianhui, Shu Hong, Liu Yan. Spatio-temporal autocorrelation of snow disasters in Xinjiang from 2000 to 2010[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 221–227.]

[13] 李亚滨, 郭阳. 黑龙江省雪灾强度划分及其预评估方法的研究[J]. 黑龙江气象, 2008, 25(1): 34–35. [Li Yabin, Guo Yang. Study on the division of snow disaster intensity and its pre-evaluation method in Heilongjiang Province[J]. Heilongjiang Meteorology, 2008, 25(1): 34–35.]

[14] 韩秀君, 贾旭轩, 申远, 等. 辽宁雪灾区划及降雪影响预评估[J]. 冰川冻土, 2016, 38(1): 21–27. [Han Xiujun, Jia Xuxuan, Shen Yuan, et al. The snow disaster zoning and the snowfall impact pre-assessment in Liaoning Province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(1): 21–27.]

[15] 马晓芳, 黄晓东, 邓婕, 等. 青海牧区雪灾综合风险评估[J]. 草业学报, 2017, 26(2): 10–20. [Ma Xiaofang, Huang Xiaodong, Deng Jie, et al. Comprehensive risk assessment of snow disasters in Qinghai Province[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(2): 10–20.]

[16] 隋琦, 王瑛, 李婷, 等. 多源信息结合的雪灾交通风险评估研究[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(11): 1571–1578. [Sui Qi, Wang Ying, Li Ting, et al. Application of multi-source information fusion in the traffic risk assessment of snow disaster[J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(11): 1571–1578.]

[17] 李西良, 侯向阳, 丁勇, 等. 天山北坡家庭牧场尺度气候变化感知与响应策略[J]. 干旱区研究, 2014, 31(2): 285–293. [Li Xiliang, Hou Xiangyang, Ding Yong, et al. Perception and adaptation to climate change in northern slope of the Tianshan mountains at household pasture scale[J]. Arid Zone Research, 2014, 31(2): 285–293.]

[18] 张小娟, 王军, 黄观, 等. 新疆3大山区云中液态水时空分布特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(4): 846–854. [Zhang Xiaojuan, Wang Jun, Huang Guan, et al. Spatiotemporal distribution of cloud liquid water volume over three main mountains in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(4): 846–854.]

[19] 陈颖, 李维京, 史红政, 等. 北大西洋涛动对新疆冬季极端冷事件的影响[J]. 干旱区研究, 2019, 36(2): 348–355. [Chen Ying, Li Weijing, Shi Hongzheng, et al. Effects of NAO on the extreme cold events in Xinjiang in winter[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(2): 348–355.]

[20] 温克刚. 中国气象灾害大典·新疆卷[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 233–273. [Weng Kegang. China Meteorological Disaster Ceremony: Xinjiang Volume[M]. Beijing: Meteorological Publish-

ing House, 2006: 233-273.]

[21] 陈家鼎, 刘婉如, 汪仁官. 概率统计讲义[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982. [Chen Jiading, Liu Wanru, Wang Renguan. Lecture Notes on Probability and Statistics [M]. Beijing: Higher Education Press, 1982.]

[22] 胡汝骥. 中国积雪与雪灾防治[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013. [Hu Ruji. Snow and its Disaster Control in China[M]. Beijing: China Environment Press, 2013.]

Spatial pattern and interannual variation characteristics of snow disaster in Xinjiang

WANG Xu[1], CHU Chang-jiang[2], MOU Huan[3]

(1. *Weather Modification Office of Xinjiang Uygur Autonomous Region*, *Urumqi* 830002, *Xinjiang*, *China*;
2. *Meteorological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region*, *Urumqi* 830002, *Xinjiang*, *China*;
3. *Meteorological observatory of Xinjiang Uygur Autonomous Region*, *Urumqi* 830002, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: Based on seven disaster factors: number of snow disasters, deaths, collapsed houses, collapsed sheds, collapsed greenhouses, livestock deaths, and affected area in Xinjiang from 1961 to 2018, the ratio weighting method and linear dimensionless method were used to construct the snow disaster damage index, which is significantly correlated with seven disaster factors. Its size could represent the strength of snow disaster damage. According to the gamma distribution of disaster damage index, snow disaster is divided into four grades of harmfulness: mild, moderate, severe, and extra severe. The frequency of snow disaster in winter, spring, autumn, and summer is 46.5%, 39.5%, 10.8%, and 3.2%, respectively. Snow disaster mainly occurs from November to April of the next year, accounting for 89% of the whole year, mainly due to the heavy snowfall and thick snow depth in this period. The spatial differences in snow disasters in Xinjiang are obvious. According to the disaster damage index, the top five prefectures (cities) ranked from large to small are: Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture, Ili Prefecture, Altay region, Tacheng region, Urumqi City, and Hami City. The high value areas of disaster damage index are mainly concentrated in northern and northwestern Xinjiang and pastoral areas in southwestern Xinjiang, while the low value areas are mainly concentrated in the oasis plain. The extra severe snow disasters take place in Nilka County, Xinyuan County, Yining County, Huocheng County, Altay City, Toli County, Artux City, Bayinbuluk, and Barkol County. These counties and cities are the difficult and key areas for disaster prevention and relief. The interannual variability of snow disasters in Xinjiang from 1961 to 2018 is intensifying, and the annual disaster damage index (intensity of snow disasters) shows an increasing linear trend, with an increase of 0.25 every 10 years. The extra severe snow disasters occur in 1985, 1990, 2001, 2006, 2008, and 2010, indicating that after entering the 21st century, the frequency of extra severe snow disasters increases significantly. Among the five climatic factors of wind speed, temperature, vapor pressure, snowfall, and snow depth, the snowfall and average snow depth from November to April of the next year are the main climatic factors affecting the interannual variation of snow disasters in Xinjiang. In summary, the spatial difference in snow disasters in Xinjiang is obvious, and the interannual variation shows an increasing trend.

Keywords: snow disaster; disaster damage index; spatial pattern; interannual variation; climate cause; Xinjiang